

**ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES FUGITIVAS DE CH₄
POR EL CONSUMO DE GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE TANDIL**
Dr. José Ignacio Gere¹, Lic. Daiana Urteaga², Dra. Victoria Susana Fusé³,
Dra. Juliarena María Paula³, Prof. Sergio Alejandro Guzmán²,
Dr. Roberto Gratton²
¹UTN-INTA-CONICET, ²UNCPBA, ³CIFICEN-UNCPBA-CICPBA-CONICET.
Mozart 2300 (C1407IVT) CABA - UTN FRBA Sede Campus Lugano
jgere@exa.unicen.edu.ar

Resumen

Dentro de la problemática general del Cambio Climático, las emisiones de metano (CH₄) siguen en importancia a las de dióxido de carbono como contribución de la actividad antropogénica a los gases de efecto invernadero. Proviene esencialmente de la ganadería, rellenos sanitarios, tratamiento de aguas residuales, minería de carbón y producción y consumo de energía. Para la Argentina, el mayor aporte proviene de la ganadería; sin embargo, dicha actividad se desarrolla en una zona donde las emisiones de CH₄ de sitios urbanos asociadas al transporte y empleo de gas natural son significativas. Con el fin de proponer estrategias de mitigación tendientes a la reducción de las concentraciones atmosféricas de CH₄, es importante distinguir el aporte diferenciado de cada una de las fuentes al incremento de tales concentraciones. En el presente trabajo se reportan mediciones de las concentraciones de CH₄ atmosférico en seis sitios dentro de la ciudad de Tandil (Provincia de Buenos Aires, Argentina). En cada sitio de muestreo se realizaron recolecciones sistemáticas de muestras de aire integradas en períodos consecutivos de 15 días durante un año (noviembre de 2012 – noviembre de 2013).

Para ello, se utilizaron recipientes de acero inoxidable de 0,5 litros dotados de restrictores de ingreso que permitían la obtención de muestras de aire integradas en el tiempo. A su vez, se registraron los parámetros meteorológicos (temperatura del aire, humedad, presión atmosférica, intensidad y dirección del viento) y el consumo de gas natural durante el período de estudio.

Se midieron concentraciones atmosféricas de CH₄ de 1,72 a 2,84 p.p.m, con notables variaciones tanto estacionales como espaciales. Las máximas concentraciones de CH₄ se registraron durante los meses más fríos, con una buena correlación, estadísticamente significativa, respecto de la temperatura del aire y del consumo de gas natural residencial.

A partir de los resultados obtenidos fue posible estimar las emisiones fugitivas de CH₄ originadas por el transporte, almacenamiento y distribución de gas natural mediante la utilización de un modelo simplificado de celda fija. La pérdida estimada de CH₄ para el año de estudio fue del 6%, comprendida en el rango de variación que reportan algunos autores.

Palabras clave: Metano * Gas natural * Emisiones fugitivas * urbano

Objetivos

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento general de las emisiones de metano (CH_4) desde zonas urbanas y de los potenciales efectos de los parámetros meteorológicos y de las distintas fuentes sobre su variación espacio-temporal. Para ello se reportan mediciones sistemáticas de las concentraciones atmosféricas de CH_4 en varios sitios de la ciudad de Tandil. A partir de los resultados obtenidos, se establece una línea de base para la concentración de CH_4 en la ciudad de Tandil y se analizan los efectos de las fuentes y sumideros que originan fluctuaciones de las concentraciones atmosféricas de CH_4 medidas. Finalmente, se estiman las emisiones fugitivas de CH_4 originadas en el transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, y se sugiere un factor de emisión para la ciudad de Tandil.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El sitio de estudio es la ciudad de Tandil (Argentina, $37^\circ 19' \text{ S}$, $59^\circ 08' \text{ O}$, 188 m.s.n.m.). Su clima es templado, con una temperatura media anual de $13,7^\circ \text{C}$. En este sitio se tomaron muestras de aire para la determinación de la concentración de CH_4 atmosférico en 6 locaciones de muestreo dentro del casco urbano y alrededores (Figura 1) durante un periodo de un año a partir del 22 de noviembre de 2012.

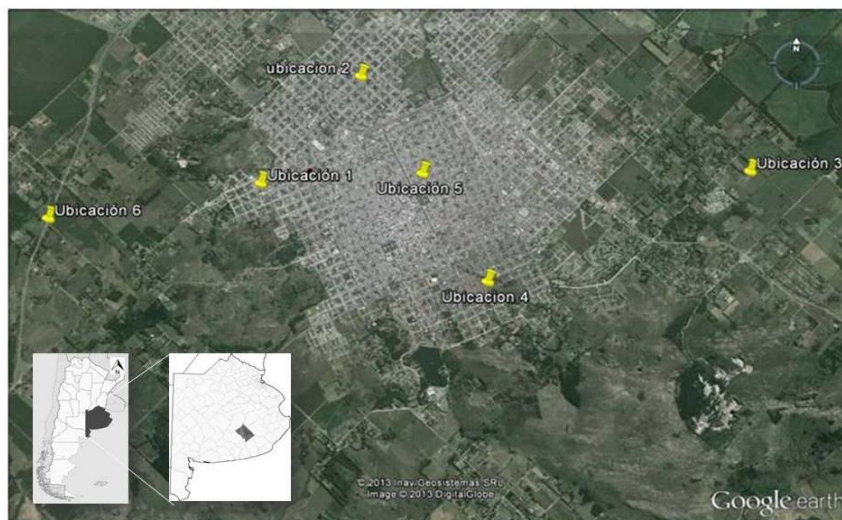


Figura 1. Distribución espacial de las locaciones de muestreo en la ciudad de Tandil.

Monitoreo de las concentraciones de metano en aire atmosférico

Para la recolección de muestras de aire se utilizaron recipientes de acero inoxidable de 0,5 l de capacidad (de diseño propio y provistos por la empresa Solydes). Estos recipientes fueron dotados de restrictores de ingreso de aire que permitieron la obtención de muestras acumuladas en períodos de 15 días (Gere y Gratton, 2010:377). Previo a cada muestreo, los recipientes fueron sometidos a un proceso de doble limpieza con nitrógeno (N_2) de alta pureza para asegurar la confiabilidad de los resultados. Las muestras de aire fueron analizadas cromatográficamente para la determinación de la concentración de CH_4 en el aire colectado (CG Agilent 7890A equipado con un detector FID y columna 1-8 m Poropak Q - 80/100 mesh).

Datos meteorológicos y consumo de gas natural en Tandil

Se registraron los valores diarios de: temperatura máxima, media y mínima, humedad relativa, presión atmosférica y dirección e intensidad del viento, durante todo el período de estudio. Los datos meteorológicos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional, estación meteorológica de Tandil. Los datos de velocidad del viento dentro del casco urbano fueron obtenidos de Picone (2014:57). Se contó además con los valores de consumo de gas natural (CGN) durante el período de estudio, suministrados por la empresa Camuzzi Gas Pampeana.

Estimación de las emisiones fugitivas de gas natural

La emisión de CH_4 originada por las pérdidas de gas natural se estimó empleando un modelo de celda fija. Este modelo es de especial utilidad para fuentes difusas diseminadas a lo largo de una superficie (como es el caso de una ciudad). Con este modelo, se puede estimar la concentración de gas en una celda efectuando un balance de masa. En la celda (de ancho W , de longitud L y altura H), la tasa de acumulación es igual a cero, ya que se supone un estado estacionario. La tasa de generación y la tasa de destrucción dentro de la celda también se asumen igual a cero, dado que para el caso del CH_4 no existe generación en términos químicos dentro de la celda y el tiempo de residencia en la atmósfera es tan alto respecto del período de estudio contemplado en este trabajo, que su tasa de destrucción es despreciable.

El flujo de entrada está dado por dos contribuciones. La primera, por el aire que ingresa a la ciudad por el lado contrario al viento, de magnitud $u.W.H.b$ (donde u es la velocidad del viento y b es la concentración atmosférica de CH_4 de base). La segunda, originada por la fuente emisora igual a $q.W.L$ (q es la emisión de gas por unidad de área, por unidad de tiempo).

El flujo de salida está dado por el aire que egresa de la celda en la dirección del viento, de magnitud $u.W.H.c$ (c es la concentración de gas en la celda).

Si se considera la diferencia entre los flujos de entrada y de salida del gas y se iguala a cero, es posible estimar el flujo o emisión de gas en la celda (q) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(c-b) \cdot u \cdot H}{L}$$

donde q es la emisión de CH_4 en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ originado por las emisiones fugitivas mensuales, c es la concentración de CH_4 en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, b es el valor de base de la concentración de CH_4 en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, u es el valor promedio de la velocidad del viento en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, H es la altura de la capa límite superficial (100 m) y L es la extensión de la ciudad en la dirección predominante del viento (5000 m).

Resultados

La concentración media de CH_4 en aire en la ciudad de Tandil osciló entre 1,98 y 2,25 p.p.m, con una variación del 10 al 15% respecto del valor medio. La mínima concentración de CH_4 fue registrada en el sitio más alejado del entorno urbano (ubicación 3, Figura 1), donde además se registró la menor concentración a lo largo de todo el periodo de estudio igual a 1,72 p.p.m. Por el contrario, las concentraciones más altas se obtuvieron en un sitio inmerso en la ciudad (ubicación 4, Figura 1).

La variación de la concentración de CH_4 a lo largo de todo el período de estudio pone en evidencia un marcado efecto estacional (Figura 2.a). Cada una de las posibles fuentes presentes en el sitio de estudio tiene una emisión temporal característica, ya sea constante durante todo el año o con máximos bien diferenciados. Es de esperar que las fuentes biogénicas, como los rellenos sanitarios, lagunas de tratamiento de aguas residuales o embalses, presenten sus máximos de emisión durante los meses más cálidos (Reay *et al.*, 2010:4-11). Sin embargo durante el final de la primavera-verano y comienzos de otoño, las concentraciones atmosféricas de CH_4 medidas oscilaron entre 1,74 y 2,09 ppm. Estas concentraciones son similares a la concentración atmosférica de CH_4 de base igual a 1,70 p.p.m asumida para la zona de estudio de acuerdo a los resultados reportados en Huarte *et al.*, (2010:2782). Debido a que la mínima concentración media de CH_4 medida (al promediar todos los sitios en un periodo dado) fue de 1,78 p.p.m se puede asumir que durante estos meses las emisiones provenientes de fuentes que podrían tener un efecto considerable en ésta durante las estaciones más cálidas del año son al menos despreciables.

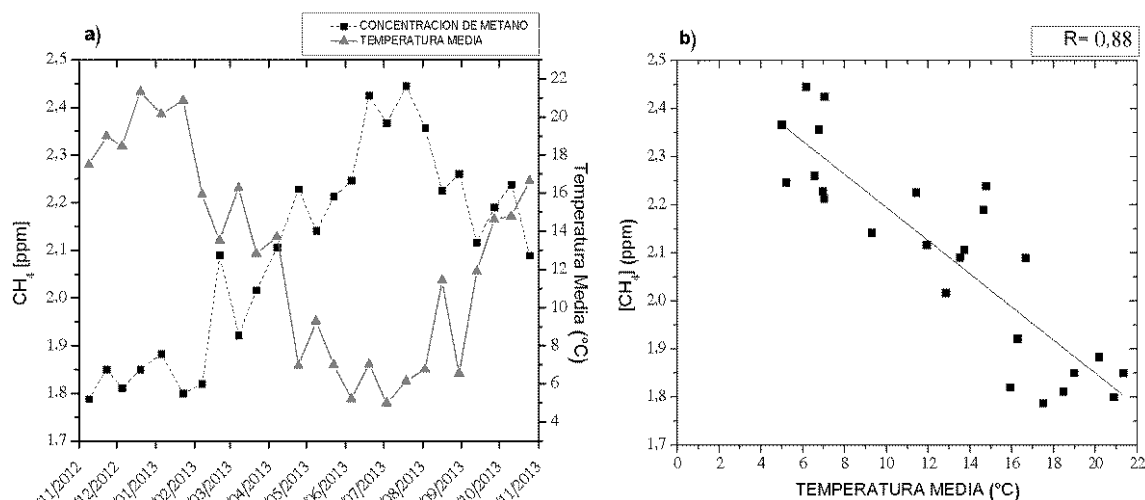


Figura 2: a) Temperatura media del aire y la concentración de CH₄ para la ciudad de Tandil durante el periodo de muestreo. b) Correlación lineal entre la concentración de CH₄ y la temperatura del aire.

En la Figura 2.a se puede observar cómo la concentración atmosférica de CH₄ se incrementa rápidamente durante el otoño-invierno, hasta alcanzar la máxima concentración de 2,45 p.p.m en el mes de agosto y disminuye luego a un ritmo similar los meses subsiguientes. Este rápido aumento durante los meses más fríos podría estar asociado a un mayor uso residencial de gas natural (mayor CGN) para la calefacción como consecuencia de la disminución de la temperatura y a las pérdidas asociadas de los sistemas de distribución por red (fuente dispersa, no biogénica). Cuando la temperatura comienza a aumentar, disminuye el consumo y por ende la concentración de CH₄ disminuye. Esto se verifica en la buena correlación observada entre la concentración atmosférica de CH₄ y la temperatura del aire ($R=0,88$; Figura 1.b). Esto se atribuye a que el gas natural está compuesto en un 94% por CH₄, por lo cual las emisiones fugitivas debidas al transporte y distribución del recurso tendrán un efecto directo en el incremento de la concentración atmosférica de CH₄.

En la Figura 3.a se puede observar claramente que la temperatura y el CGN se correlacionan inversamente, es decir, cuanto menor es la temperatura ambiental, mayor es el consumo. En la Figura 3.b se muestra el análisis de regresión lineal donde se verifica una relación lineal negativa entre el CGN y la temperatura del aire, obteniéndose un $R=0,97$.

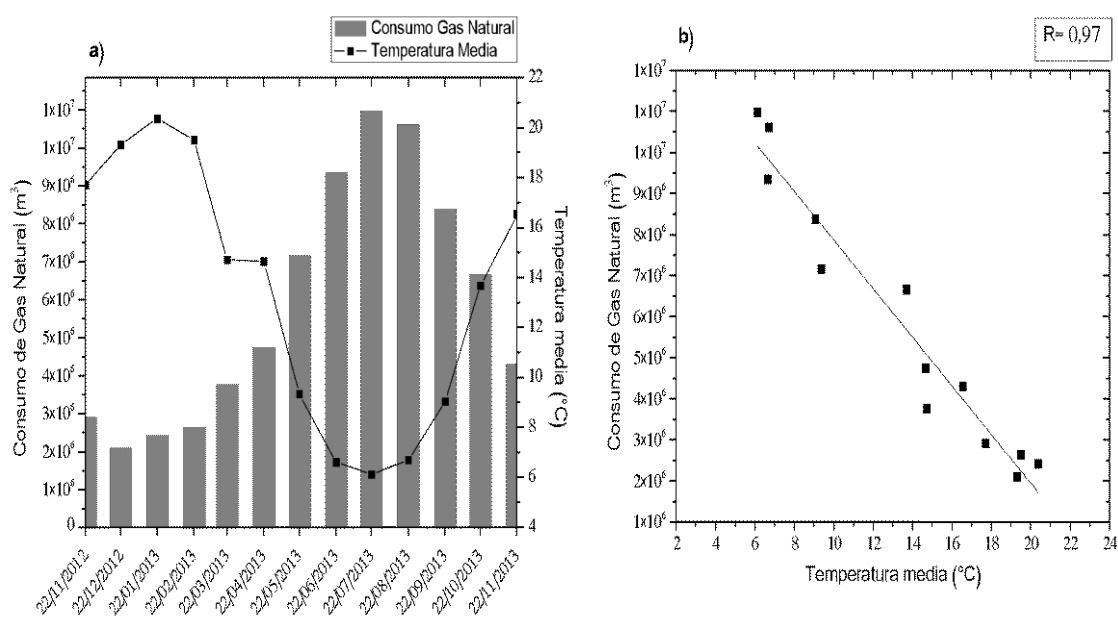


Figura 4. a) Consumo de gas natural (CGN) y concentración de CH₄ para la ciudad de Tandil en el periodo de estudio b) Correlación lineal de la concentración de CH₄ y el CGN total.

En la Figura 4.a se observa que la variación de la concentración atmosférica de CH₄ medida describe fielmente la variación del CGN a lo largo del periodo de estudio. Este comportamiento da sustento a la hipótesis de que el incremento de la concentración de CH₄ estaría originado por las emisiones fugitivas de CH₄. El grado de correlación entre ambas variables es alto dado que el valor obtenido de $R=0,97$ (Figura 4.b).

Un resultado interesante se observa en la ordenada al origen de la recta de regresión igual a 1,72 p.p.m, valor muy cercano a la concentración atmosférica de CH₄ de referencia. Esto muestra que es muy posible que el CGN sea la contribución más significativa al incremento de las concentraciones de CH₄ atmosférico en un sitio urbano.

La estimación de la emisión de CH₄ empleando el modelo de celda fija se muestra en la Figura 5.a. El valor medio anual calculado fue de 380 mg.m⁻².d⁻¹. Estos resultados son significativamente mayores que los reportados por McKain *et al.* (2014:1943) donde se presenta un valor de referencia para la región de Boston (Estados Unidos) de 50 mg.m⁻².d⁻¹.

Si bien la obtención de las emisiones de CH₄ en términos absolutos es importante para la caracterización de un sitio de estudio, los factores de emisión que se emplean en los inventarios nacionales se calculan de forma relativa a la fuente emisora, en nuestro caso el CGN. Para realizar esto, se efectuó una conversión de unidades para representar el consumo en mg.m⁻².d⁻¹. De la relación entre la emisión de CH₄ y el CGN se puede obtener el factor de emisión originado por el flujo de gas natural (transporte, almacenamiento y distribución).

Esto se muestra en la Figura 5.b donde el factor de emisión queda determinado por la pendiente de la recta de regresión lineal igual al 6%. Este valor es mayor al reportado en los inventarios nacionales, donde se estiman las emisiones fugitivas de CH₄ en el orden del 4% (República Argentina, 2007:63).

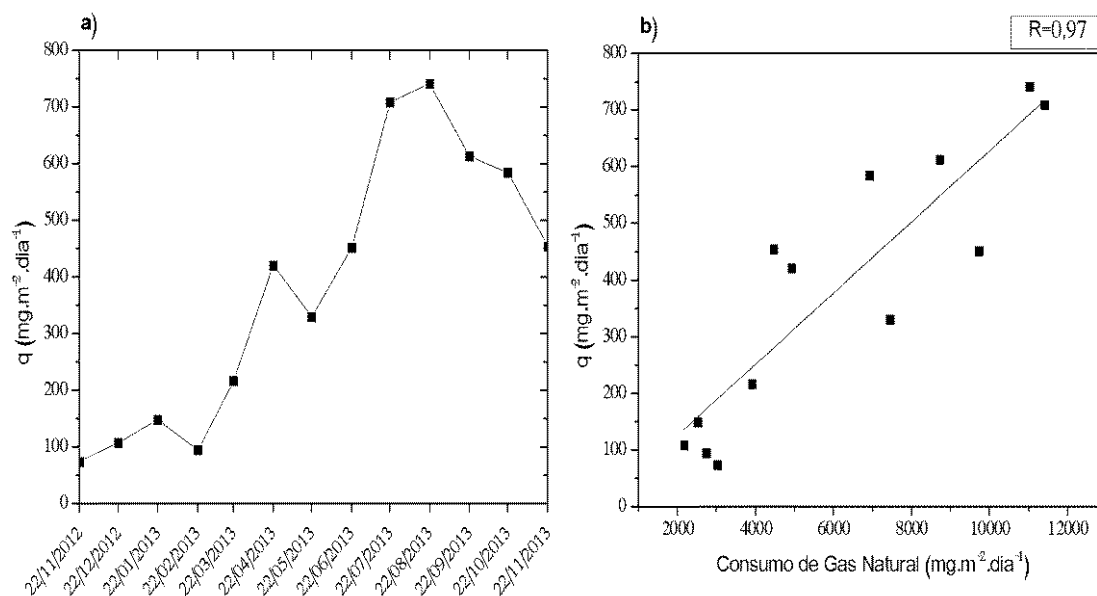


Figura 5: a) Emisión de CH₄ originada por las pérdidas de gas natural empleando un modelo de celda fija. b) Correlación lineal entre la emisión de CH₄ y el consumo total de gas natural.

El valor de referencia empleado por la Argentina coincide con los valores sugeridos en la literatura internacional, donde se reportan valores comprendidos entre el 1,4% y el 3,6% (Howarth *et al.*, 2011:683; McKain *et al.*, 2015:1943). Sin embargo, estudios directos sobre los sistemas de distribución donde se miden las diferencias entre el volumen de gas ofrecido y el consumido por los usuarios, reportaron valores que alcanzan hasta un 10% (Cicerone y Oremland, 1988:317). En base a un análisis combinado de estos estudios, Hayhoe *et al.*, (2002:115) proponen un valor de referencia del 2,5%, y consideran un rango de variación comprendido entre el 0,2 y el 10%.

Conclusiones

Las máximas concentraciones de CH₄ se registraron durante los meses más fríos, con una buena correlación, estadísticamente significativa, respecto de la temperatura del aire.

Si bien el modelo matemático utilizado es en extremo simplificado, los resultados obtenidos para las emisiones fugitivas originadas por el transporte, almacenamiento y distribución de gas natural son consistentes con los reportados en la literatura. La pérdida estimada de CH₄ para el año del estudio fue del 6%, comprendida en el rango de variación que reportan algunos autores.

En principio es un factor de emisión válido que permitiría un ajuste del valor empleado para las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) para la ciudad de Tandil. Si bien es posible que el factor de emisión estimado requiera algunos ajustes, en términos absolutos la metodología empleada permitiría testear posibles estrategias de mitigación tendientes a disminuir las emisiones de GEIs originadas por las pérdidas de gas natural, siempre que se emplee la misma metodología.

Bibliografía

Cicerone RJ, Oremland RS. Biogeochemical aspects of atmospheric methane. *Global biogeochemical cycles* 1998; 2: 299-327.

Gere JI, Gratton R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. *Latin American Applied Research* 2010; 40: 377-81.

Hayhoe K, Kheshgi HS, Jain AK, Wuebbles DJ. Substitution of natural gas for coal: climatic effects of utility sector emissions. *Climatic Change* 2002; 54: 107-39.

Howarth RW, Santoro R, Ingraffea A. Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations. *Climatic Change* 2011; 106: 679-90.

Huarte A, Cifuentes V, Gratton R, Clausse A. Correlation of methane emissions with cattle population in Argentine Pampas. *Atmospheric Environment* 2010; 44: 2780-6.

McKain K, Down A, Raciti SM, Budney J, Hutyra, Floerchinger C, *et al.* Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2015; 112: 1941- 6.

Piccone N. Clima urbano de la ciudad de Tandil. Tesis para optar al título de Doctor en Geografía de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 2014.

Reay D, Smith P, van Amstel A. Methane sources and the global methane budget. En: Reay, D., Smith, P., & Van Amstel, A. (Eds.). *Methane and climate change*. Earthscan. 2010; P. 1-13.

República Argentina. "Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático". Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2007.